

U.P.R. Systèmes canniers
Pôle REAGIR



CHAMBRE
D'AGRICULTURE
DE LA REUNION

TESTS D'OSIRI, OUTIL DE CONSEIL A L'IRRIGATION CHEZ DES AGRICULTEURS CANNIERS DE LA REUNION

Chopart J.-L.¹, Aure F.², Le Mézo L.¹, Mézino M.¹, Antoir J.²

Mars 2007

¹ CIRAD, 7 chemin de l'Irat Ligne Paradis 97410 Saint Pierre, La Réunion, France

² Chambre d'Agriculture de la Réunion, BP 134 97463 Saint Denis, La Réunion, France

Chopart J.-L., tel. : 262499262, fax : 262499295, email : chopart@cirad.fr

Aure F., tel. : 262248288, fax : 262248455, email : r.eau@reunion.chambagri.fr

Le Mézo L., tel. : 262499264, fa: 262499295, email : lemezo@cirad.fr

Mézino M., tel. : 262499263, fax : 262499295, email : mezino@cirad.fr

Antoir J., tel. : 262962066, fax : 262962070, email : eau.suad@reunion.chambagri.fr

TESTS D'OSIRI, OUTIL DE CONSEIL A L'IRRIGATION CHEZ DES AGRICULTEURS CANNIERS DE LA REUNION.

Chopart J.-L., Aure F., Le Mézo L., Mézino M., Antoir J.

RESUME

Un outil d'aide à la décision pour le conseil en irrigation, adapté à des petites exploitations et à un environnement pédo-climatique hétérogène, a été récemment mis au point à la demande et avec la Chambre d'Agriculture à la Réunion. Il est fondé sur un modèle simple de simulation du bilan hydrique, couplé à un jeu de règles de décisions. Ceci conduit à proposer des doses, dans l'unité de programmation de l'irrigation, tenant compte du climat et des sols locaux. L'outil fournit à l'agriculteur des conseils personnalisés et individualisés pour chaque unité d'irrigation et peut tester différents scénarios d'irrigation pour optimiser les choix. Les principales règles de décision d'OSIRI sont publiées dans un article Chopart et al. (2007).

Dans un dispositif expérimental situé dans un champ en canne à sucre irriguée, on a comparé les performances de cet outil avec celui actuellement utilisé (conseil à l'ETM), fondé sur l'estimation de l'évapotranspiration maximale. Les résultats montrent qu'OSIRI simule bien l'évapotranspiration réelle de la culture ainsi que les pertes par drainage en dessous de la zone racinaire. Dans les conditions pluviométriques de 2006 et avec les modalités expérimentales retenues, il a permis une économie de 26 % des apports d'eau d'irrigation et de 9 % du drainage par rapport au traitement conseil à l'ETM, sans réduction du rendement.

Deux ans après le début de son introduction chez les agriculteurs, OSIRI est devenu l'outil de conseil le plus utilisé par les conseillers en irrigation de la Chambre d'Agriculture. Une enquête menée chez 25 agriculteurs montre que l'outil est bien accepté et est considéré comme un outil d'aide à la décision utile. Une typologie sommaire indique que l'outil est opérationnel pour les différentes catégories d'agriculteurs enquêtés.

Un suivi des rendements obtenus chez 5 agriculteurs pendant 6 ans, avant et après l'introduction d'OSIRI, semble montrer que l'outil a permis une légère augmentation du rendement (+10%). Bien que non statistiquement significatif, ce résultat confirme ceux obtenus en conditions expérimentales : l'utilisation de l'outil conduit à une réduction des apports d'eau, sans risque de baisse de production.

L'outil est donc adapté à une majorité d'agriculteurs canniers, mais il n'est spécifique ni de la canne à sucre, ni de l'environnement physique et humain de la Réunion.

INTRODUCTION

Dans beaucoup de systèmes irrigués, le principe de précaution conduit souvent à des apports excessifs. Mais, à la Réunion, du fait d'une forte démographie, d'une urbanisation rapide et d'une ressource limitée, l'eau agricole va être de plus en plus en concurrence avec l'eau à usages domestique et industriel. Il faut donc optimiser la durabilité et la rentabilité de l'eau agricole, notamment par le développement et l'utilisation d'outils d'aide à sa gestion qui soient adaptés aux spécificités environnementales et socio-économiques de la Réunion.

Il existe déjà, dans le monde, de nombreux outils de conseil ou de pilotage d'irrigation. Toutefois, beaucoup concernent l'irrigation gravitaire (Georges *et al.* 2004, Mailhol, 2005) ou par aspersion avec des matériels ne correspondant pas aux systèmes irrigués de la Réunion. Parmi les types de conseil en petite irrigation à l'échelle de la parcelle, on peut citer: (i) l'utilisation d'indicateurs d'état hydrique de la plante (Jackson, 1984) ou du sol (Ozier- Laffontaine et Cabidoche 1995), (ii) la modélisation du bilan hydrique (Smith, 1992 ; Inman-Bamber *et al.*, 2002), (iii) l'établissement de fiches fondées sur des valeurs moyennes de climat et de besoins en eau des cultures. L'utilisation d'indicateurs sol ne paraît pas, au moins actuellement, très adaptée à la Réunion, à cause de la variabilité des sols et du coût des mesures in situ qu'il convient de mettre en œuvre. Les indicateurs plantes peuvent devenir intéressants dans l'avenir à travers la télédétection, mais, des travaux de recherches doivent encore être menés dans ce domaine avant de devenir des outils pour le développement. A la Réunion, les agents du développement proposent actuellement un conseil très simple, dit Conseil à l' ETM, assimilable à la catégorie (iii). Il est fondé sur l'estimation des besoins en eau de la culture à partir des moyennes régionales d' ET_0 tirées d'études fréquentielles et des fluctuations moyennes des coefficients cultureux. Après une pluie, la date de reprise des irrigations est laissée à l'appréciation de l'agriculteur, ce qui peut conduire à des irrigations excédentaires. Cet outil est très simple mais la non, ou la faible, prise en compte de la réserve en eau utile du sol et des pluies, limite, à priori, sa capacité à un ajustement local des apports aux besoins. Un autre outil IRRICANNE (Combres et Kamiénarz, 1992) a été jugé trop complexe par la plupart des utilisateurs (conseillers agricoles et agriculteurs). Les décideurs locaux ont souhaité disposer d'un outil d'aide à la décision intermédiaire entre ces deux extrêmes.

Pour répondre à cette demande, un nouvel outil OSIRI a été élaboré localement. Il est le fruit d'une collaboration entre le CIRAD et la Chambre d'Agriculture. Il consiste en un logiciel simple d'utilisation. Un document présentant l'outil et son mode de fonctionnement a été rédigé (Chopart *et al.*, 2005) ainsi qu'un guide de l'utilisateur (Chopart *et al.*, 2005). Un article vient d'être publié dans une revue internationale (Chopart *et al.*, 2007), ce qui donne à OSIRI une reconnaissance de la communauté scientifique internationale. Ce document présente, après un rappel des principales caractéristiques d'OSIRI, des tests d'évaluation de la qualité et de l'intérêt de l'outil pour la canne à sucre à la Réunion. Il s'agit en particulier:

- de l'évaluation de l'outil dans un dispositif expérimental, en comparaison avec l'outil actuel (conseil à l' ETM) pendant un cycle cultural (1 an)
- des résultats d'une enquête menée chez 25 agriculteurs, (degré de satisfaction)
- d'un suivi des rendements obtenus pendant 6 ans chez 5 agriculteurs, avant et après l'introduction d'OSIRI.

MATERIELS ET METHODES

L'étude a été menée dans le sud et l'ouest de l'île de la Réunion (21°S, 55°E, Fig.1a). En raison du relief élevé (point culminant à 3100 m), il existe une grande variabilité climatique aussi bien dans le temps que dans l'espace. Le cumul annuel des pluies varie entre 0.5 et 10 m selon le lieu et l'altitude avec des gradients très forts à l'échelle kilométrique. La canne à sucre est la culture dominante (26500 ha en 2006) ; la moitié des surfaces cannières sont irriguées. Chaque exploitation dispose d'une ou plusieurs bornes avec un débit constant (sauf en cas de coupures). Une unité d'irrigation est constituée d'une subdivision de l'exploitation. En irrigation par aspersion, l'exploitant irrigue chaque unité séquentiellement. Le tour d'eau entre deux irrigations va en général de 2 à 10 jours. En équipement goutte à goutte, l'irrigation est quotidienne. L'irrigation est souvent pilotée par des systèmes automatiques. Les exploitants peuvent disposer de conseil auprès des techniciens de la Chambre d'Agriculture.

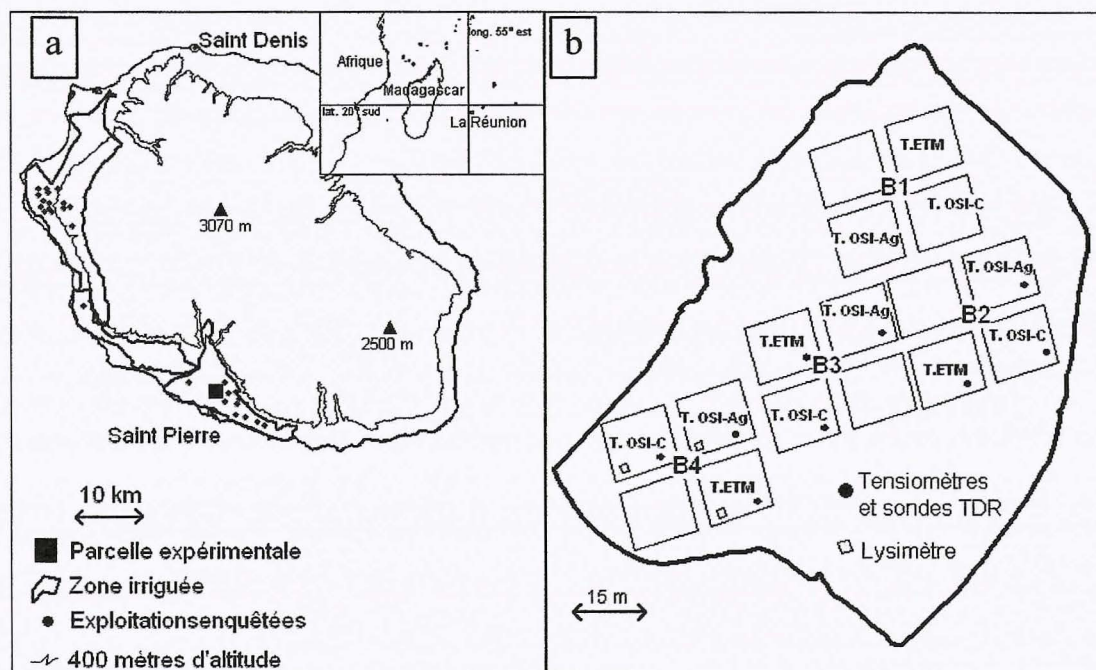


Figure 1. Cartes de l'île de la Réunion avec la position des exploitations enquêtées (1a) et une présentation schématique du dispositif expérimental au champ (1b).

L'outil OSIRI (Rappels)

L'acronyme d'OSIRI "Outil Simplifié pour une Irrigation Raisonnée et Individualisée" affiche les objectifs recherchés : outil simple, optimisant l'eau d'irrigation et de pluie, tenant compte de l'hétérogénéité des paramètres d'irrigation et d'environnement pédo-climatique. L'outil fonctionne dans l'environnement Windows (Microsoft®) avec le tableur Excel 2000® ou supérieur, sur les micro-ordinateurs familiaux disposant de la suite Office 2000® ou

supérieur. Les données sont stockées en fichiers Excel®, exportables vers les tableurs usuels. Les versions en anglais, en portugais et en français sont disponibles sur demande.

OSIRI est un logiciel de conseil en irrigation à l'échelle d'unité d'irrigation (1 asperseur, un secteur en goutte à goutte, des surfaces importantes irriguées en même temps). Le jour où l'irrigation est possible, en fonction de la fréquence d'irrigation, la dose est calculée par des algorithmes, faisant appel à différents paramètres : stock hydrique du jour estimé par le modèle de bilan hydrique PROBE (Chopart et Vauclin, 1990), pluies prévisibles, besoins en eau de la culture, débit et temps d'irrigation possibles, périodicité des apports d'eau, niveaux haut (TR) et bas (SD) de remplissage du réservoir en eau du sol (RUR). Les pluies prévisibles sont estimées à partir d'une étude fréquentielle des pluies mesurées dans les postes météo les plus proches. Une simulation journalière du bilan hydrique PROBE est alors effectuée pour le tour d'eau à venir, avec l'irrigation programmée et des pluies journalières prévues au cours du tour d'eau.

Ceci permet de disposer, à la fin du tour d'eau, d'un nouvel état des réserves qui servira à déterminer l'irrigation pour le tour d'eau suivant. Ce processus de calcul se répète jusqu'à la récolte. L'agriculteur dispose ainsi d'une estimation des irrigations jusqu'à la fin du cycle et d'une aide pour sa stratégie d'irrigation. Les doses conseillées sont affichées dans l'unité de programmation de l'irrigation sous deux formes: (i) par secteur d'irrigation pour la durée de la culture, (ii) pour tous les secteurs par mois.

Il faut recalculer périodiquement le bilan hydrique avec les pluies et les irrigations réelles reçues, pour recalculer l'état des réserves hydriques et donner une meilleure pertinence au conseil. Si ce travail est fait par un conseiller, l'agriculteur ajuste les doses en fonction des pluies réelles entre deux visites de son conseiller. Pour cela, une méthode simple est proposée, elle est affichée dans la feuille de conseil. Dans la page d'accueil du logiciel OSIRI-Run, cinq fonctions sont proposées: (i) création ou suppression de secteurs d'irrigation, (ii) saisie des pluies ou des irrigations, (iii) calculs et édition du bilan hydrique et du conseil, (iv) impression et exportation de données, et de conseils, et (v) quitter OSIRI-Run. Le maniement de l'outil ne demande que des notions de base en bureautique. Une aide contextuelle et un guide d'utilisateur (Chopart *et al.*, 2005) sont disponibles.

L'agriculteur, avec l'aide d'un conseiller, commence par créer un nouveau dossier contenant tous les secteurs d'irrigation partageant les mêmes données climatiques. Après avoir modélisé un bilan hydrique prévisionnel, OSIRI-Run propose un calendrier d'irrigation prévisionnel pour chaque tour d'eau jusqu'à la récolte. Le conseil prévisionnel permet de voir si le dispositif et les choix de départ permettent des irrigations conformes aux souhaits. Sinon, il est possible d'ajuster la stratégie en modifiant des éléments. Quand le calendrier prévisionnel d'irrigation est conforme, des fiches simples sont éditées avec un conseil pour l'ensemble ou le reste du cycle contenu dans une seule fiche de format A4.

Avec ces éléments d'aide à la décision, l'agriculteur programme ses irrigations en début de période de conseil. Il relève ensuite les volumes d'eau consommés ainsi que les pluies au cours de la période concernée ; il a alors deux possibilités: soit il effectue un nouveau calcul du bilan avec les doses réelles de pluies et d'irrigation pour le conseil suivant, soit il procède

lui-même à un ajustement par une méthode simplifiée. Des informations plus détaillées sur l'outil sont disponibles (Chopart et al., 2005, Chopart et al., 2007).

Tests en dispositif expérimental chez un agriculteur

Le dispositif expérimental est constitué de 4 blocs dans une parcelle de canne à sucre de 5000 m² dans le sud de la Réunion (Fig. 1b). Le sol est argileux, d'origine volcanique. Il atteint plus de 2 mètres de profondeur avec une densité apparente proche de 1 g/cm³. Cette parcelle a été plantée en canne à sucre depuis plusieurs années. Le dispositif expérimental a été mis en place pendant la campagne 2005-2006. Ce dispositif est irrigué par des asperseurs permettant une irrigation aussi homogène que possible. A l'intérieur de chaque bloc, il y a 3 parcelles de 160 m². Elles sont pilotées selon 3 conseils en irrigation différents:

- (i) T.ETM: Conseil à l'ETM. L'irrigation suit les recommandations de la feuille de conseils. Si le cumul de pluie sur une période de 5 jours dépasse les 30 mm, l'irrigation est suspendue pendant 5 jours (un tour d'eau).
- (ii) T.OSI-Ag (Ag pour Agriculteur): l'irrigation suit le conseil OSIRI avec une mise à jour des stocks d'eau effectuée une fois par mois pour respecter les conditions locales d'utilisation par les agriculteurs,
- (iii) T.OSI-T (T pour témoin): l'irrigation suit le conseil OSIRI avec un conseil à chaque tour d'eau (5 jours). C'est le traitement témoin.

Concernant le conseil à l'ETM, les choix retenus pour l'expérimentation sont une application locale du conseil. Les valeurs (cumul de pluies et nombre de jours d'arrêt d'irrigation) sont à moduler par l'agriculteur lui-même en fonction des conditions locales.

Trois blocs sont équipés de sondes TDR et de tensiomètres mis en terre entre 0.2 et 2 m de profondeur pour évaluer les termes du bilan hydrique.

Trois parcelles, une par traitement, sont équipées de lysimètres de 2.25 m² de surface et de 180 cm de profondeur. Ceux-ci ont été soigneusement remplis avec la terre précédemment enlevée. Celle-ci a été tassée pour reprendre les propriétés du sol en place. Le fond de chaque lysimètre est équipé d'un pluviomètre automatique pour mesurer le drainage. La pluie est également enregistrée automatiquement. Des souches de canne à sucre ont été plantées dans chaque lysimètre en gardant la même densité que celle de la parcelle environnante. Les lysimètres ont été installés 2 ans avant l'étude pour ré homogénéiser le sol et la culture. Les traitements ont été différenciés après un an de culture homogène.

Pour le pilotage de l'irrigation, les paramètres suivants sont communs aux trois conseils:

- (i) les données climatiques (pluie et ETP),
- (ii) le tour d'eau (5 jours),
- (iii) la date de début de cycle cultural (31/10/2005) et de récolte (30/10/2006),
- (iv) le coefficient cultural (Chopart et al., 2007).

T.OSI-Ag et T.OSI-T utilisent les paramètres complémentaires suivants: (i) efficience de l'irrigation (80%), (ii) réserve en eau utile (0.072 cm par cm de sol), (iii) la cote de drainage (180 cm), et (iv) profondeur du front racinaire (120 cm). La profondeur racinaire est considérée constante tout au long du cycle de repousse de la canne. Le niveau maximum de remplissage du réservoir sol et le seuil de déclenchement de l'irrigation (Chopart et al., 2007) ont été fixés respectivement à 80 % et à 60 % de la réserve utile racinaire (68 mm).

Comparaison entre valeurs mesurées et calculées par OSIRI-Run.

T.ETM, T.OSI-Ag et T.OSI-T ont été comparés selon trois critères: (i) doses d'irrigation apportées, (ii) eau de drainage perdue au delà de la zone racinaire (DT), et (iii) évapotranspiration réelle (ETR). On a aussi comparé le rendement de la canne à sucre des 3 traitements et la productivité de l'irrigation définie comme le rapport entre le rendement usinable et les volumes d'eau d'irrigation sur le cycle cultural (12 mois). Pour les deux traitements (T.OSI-Ag et T.OSI-T), les termes du bilan hydrique d'OSIRI ont été calculés avec les mêmes données de sol et de culture, ainsi qu'avec les pluies et les irrigations réelles.

Pour les lysimètres, les valeurs expérimentales de l'ETR ont été obtenues par différence entre les quantités d'eau apportées (pluie + irrigation) et les pertes par drainage mesurées à la base des lysimètres, en considérant que le sol a atteint la capacité au champ après 60 JAC. Les termes du bilan hydrique issus des conseils OSIRI ont été comparés aux variations de stocks mesurés par des sondes TDR (? S). Ces comparaisons ont été effectuées sur des cumuls d'ETR et de drainage entre deux dates. Ces calculs ont été réalisés pendant 4 périodes de 20 à 36 jours quand le drainage était nul ou très faible (lysimètres et tensiomètres indiquant un drainage faible). Ceci nous autorise à cumuler l'ETR et le drainage, considérés comme des pertes en eau équivalentes à ? S. Les différences d'ETR et de drainage entre valeurs mesurées et valeurs calculées par OSIRI ont été analysées par différentes méthodes statistiques adaptées : le coefficient d'efficacité de Nash (NE), l'erreur moyenne en % (RMSE), et le biais moyen (MB); ces valeurs doivent être, respectivement, aussi proches que possible de 1, 0 et 0. Des informations détaillées sur ces méthodes sont données par ailleurs (Duwig et al., 2003, Chopart et al., 2007).

Enquête auprès des agriculteurs

Pour évaluer le degré de satisfaction des utilisateurs d'OSIRI-Run, une enquête a été menée parmi les 66 exploitants utilisant l'outil de conseil depuis plus d'un an ou ayant commencé le suivi au cours de cette campagne. Ils sont répartis dans une zone côtière longue de 40 Km environ (Fig. 1a). Un échantillon de 25 agriculteurs pris au hasard a été utilisé pour l'enquête sur le terrain (Fig. 1a).

L'enquête a été menée par un étudiant extérieur aux organismes concepteurs de l'outil et en dehors de la présence des conseillers afin de garantir l'objectivité des réponses (Minatchy 2007). Elle a consisté à questionner l'agriculteur sur ses pratiques d'irrigation avant et après le conseil OSIRI-Run. Les principales questions étaient: (i) quelle est l'impression générale ? (ii) les doses proposées par OSIRI sont-elles : trop faibles, correctes, trop fortes ? (iii) les consommations en eau d'irrigation ont-elles augmenté/ diminué ? (iv) par rapport à la situation antérieure, le pilotage de l'irrigation est-il plus facile/plus difficile? Pour chaque réponse, une note entre 1 et 5 a été donnée.

Afin d'essayer de comprendre la variabilité des réponses d'un agriculteur à l'autre, un certain nombre d'informations ont été recueillies: l'âge du chef d'exploitation, son type de formation, l'ancienneté de la pratique d'OSIRI-Run (première année ou seconde année), le type de conseil en irrigation utilisé avant celui ci, le mode de programmation de l'irrigation (ouverture manuelle des vannes, pilotage programmé en temps ou en volume). Deux types de

formation ont été identifiés : formation pratique à l'irrigation sans formation agricole (type I), formation de base agricole complétée par une formation pratique à l'irrigation (type AI).

Suivi des rendements chez 5 agriculteurs

La production de canne à sucre de 5 exploitations parmi les 25 enquêtées a été mesurée chaque année pendant 6 années consécutives. Ces exploitations sont situées dans la même région du sud de la Réunion (lieu-dit de Bassin Plat) avec une distance maximale de 1 km entre elles, sans variabilité climatique à cette échelle. Pendant les 2 premières années (2001-2002), l'irrigation était apportée sans aucun conseil et l'équipement obsolète (aspersion en couverture mobile). En 2003, les exploitants se sont équipés de nouveaux matériels (aspersion en couverture intégrale avec automatismes), sans toutefois utiliser de conseils à l'irrigation en 2003 et 2004. Depuis 2005, ces 5 agriculteurs utilisent le conseil OSIRI. Ainsi, la période (2001-2006) peut être divisée en 3 classes de pratiques d'irrigation différenciées (équipement et conseil).

RESULTATS

Parcelle expérimentale

Comparaison des doses d'irrigation apportées selon les conseils OSIRI-Run ou ETM.

Les différences observées entre les deux versions d'OSIRI-Run (T.OSI-Ag et T.OSI-T) ne sont pas significatives (Tab. 1). Les doses d'irrigations programmées sont plus fortes avec le conseil T.ETM que celles recommandées par OSIRI. Sur la totalité du cycle (360 jours), OSIRI permet une économie en eau d'irrigation de 26%, sans que la canne à sucre ne montre de stress hydrique visible d'après l'observation des feuilles et le suivi des tensiomètres.

Tableau n° 1: Valeurs moyennes des irrigations recommandées par les trois outils pendant la phase de recharge de la réserve (0-60 JAC) et le reste du cycle (60-360 JAC). JAC est le nombre de jours après coupe. CV est le coefficient de variation des 3 répétitions.

		T. ETM	T. OSI-T	T. OSI-Ag	CV %
Pluie (mm)	0-60 JAC	47	47	47	
	60-360 JAC	871	871	871	
Irrigation (mm)	0-60 JAC	209 ^a	149 ^b	169 ^b	12.7
	60-360 JAC	416 ^a	347 ^b	324 ^b	7.7

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 0.05 (test de Newman-Keuls)

Ceci a entraîné, dans les lysimètres, un drainage légèrement plus fort sur T.ETM (Fig 2). Pendant le cycle, 4 périodes ont été identifiées pendant lesquelles les pluies ont été faibles. Après quelques jours sans pluie, les drainages mesurés sont devenus nuls ou très faibles. Ceci a permis le calcul des ETR. Il n'y a pas de différence significative entre les trois méthodes d'irrigation (Tab. 2).

Tableau n° 2: valeurs moyennes de l'évapotranspiration réelle (mm/j) pour les trois traitements sur 4 périodes pour lesquelles le drainage à la profondeur -180 cm est nul ou très faible. Pluie en mm, ETM (évapotranspiration maximum en mm/j. CV : coefficient de variation des 3 répétitions.

	Pluie	ETM	T.ETM	T.OSI-T	T. OSI- Ag	CV %
Période 1 (28 j)	19.2	4.5	3.51 ^a	3.57 ^a	3.24 ^a	15.1
Période 2 (21 j)	17.2	4.3	3.93 ^a	4.13 ^a	3.68 ^a	15.1
Période 3 (21 j)	5.4	3.3	2.82 ^a	3.15 ^a	2.99 ^a	16.6
Période 4 (36 j)	28	3.6	3.34 ^a	3.04 ^a	3.16 ^a	9.9
Total 106 jours	69.8	3.9	3.40 ^a	3.42 ^a	3.25 ^a	8.3

Pour les traitements T.ETM et T.OSIRI, les valeurs d'ETR sont très proches de l'ETM, indiquant que les différents outils de conseils sont aptes à satisfaire les besoins en eau de la culture. Le rendement en canne usable est équivalent pour les 3 traitements (Tab. 3). La productivité de l'eau d'irrigation a augmenté de façon conséquente (environ +25 %) pour les parcelles pilotées par OSIRI par rapport aux parcelles du traitement T.ETM (Tab. 3).

Tableau n° 3: Effets des trois conseils à l'irrigation sur les composantes du rendement de la canne à sucre et sur la productivité de l'eau d'irrigation. CV est le coefficient de variation des 4 répétitions.

	T.ETM	T.OSI-T	T.OSI-Ag	CV %
Nombre de tiges par m ²	6.1 ^a	6.2 ^a	6.1 ^a	15.6%
Diamètre (cm)	2.8 ^b	2.9 ^a	2.9 ^a	0.9%
Hauteur de la tige usinable (m)	2.66 ^a	2.69 ^a	2.64 ^a	4.1%
Richesse (%)	15.0 ^a	15.0 ^a	15.1 ^a	2.0%
Poids frais (t/ha)	86 ^a	88 ^a	86 ^a	11.0%
Sucre (t/ha)	13.9 ^a	14.3 ^a	14.1 ^a	12.8%
Productivité de l'irrigation (t/mm)	0.137 ^a	0.177 ^a	0.174 ^a	17.5%

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 0.05 (test de Newman-Keuls))

Les tableaux 1, 2 et 3 montrent que l'utilisation d'OSIRI selon les deux méthodes: T.OSI-T (témoin avec une mise à jour tous les 5 jours) et T.OSI-Ag (mise à jour mensuelle), conduit à des résultats similaires. Il en résulte que la mise à jour mensuelle d'OSIRI, comme elle est mise en oeuvre actuellement par les conseillers de la Chambre d'Agriculture, peut être considérée comme suffisante pour optimiser l'irrigation.

Comparaison entre valeurs expérimentales et valeurs calculées par OSIRI.

Les valeurs de drainage cumulé calculées et mesurées à la profondeur -180 cm entre 60 JAC et la récolte sont affichées dans la Fig. 2. Les valeurs observées et calculées sont très proches les unes des autres, quelque soit le traitement. Une comparaison statistique a été aussi faite sur les valeurs mensuelles (10 périodes de 30 jours entre 60 et 360 JAC) (Fig. 2). Les valeurs de NE, RMSE et MB affichées dans le tableau 4 montrent que le modèle de bilan hydrique contenu dans OSIRI reproduit correctement les valeurs observées. Ces valeurs sont de même ordre de grandeur que celles publiées dans le même type d'évaluation de modèle de bilan hydrique (cf. Duwig et al., 2003).

La corrélation linéaire présentée en Fig.3 confirme la bonne relation entre les valeurs de drainage calculées (DT_c) et mesurées (DT_o) pour les trois traitements. Cette droite est proche de la bissectrice, montrant l'absence d'erreur systématique.

Tableau n° 4 : Résultats statistiques entre valeurs de drainage observées et calculées par OSIRI pour les 3 traitements. Les valeurs sont les moyennes de 10 périodes d'1 mois sur l'ensemble du cycle de la canne (60-360 JAC).

	Drainage
Nombre d'observations,	30
Moyenne (mm/jour)	1.37
Biais moyen MB (mm/jour)	-0.02
Efficience de Nash, NE (-)	0.85
Erreur moyenne RMSE (%)	39

Nous avons aussi comparé les ETR mesurées et calculées par le modèle OSIRI pendant 4 périodes sans pluies importantes, à partir des variations de l'humidité du sol. Il n'y a pas de différences statistiques entre les traitements (Tab. 2). Les valeurs de NE, RMSE et MB calculées pour 36 observations (4 périodes, 3 traitements, 3 répétitions) montrent qu'OSIRI modélise correctement l'ETR (Tab. 5).

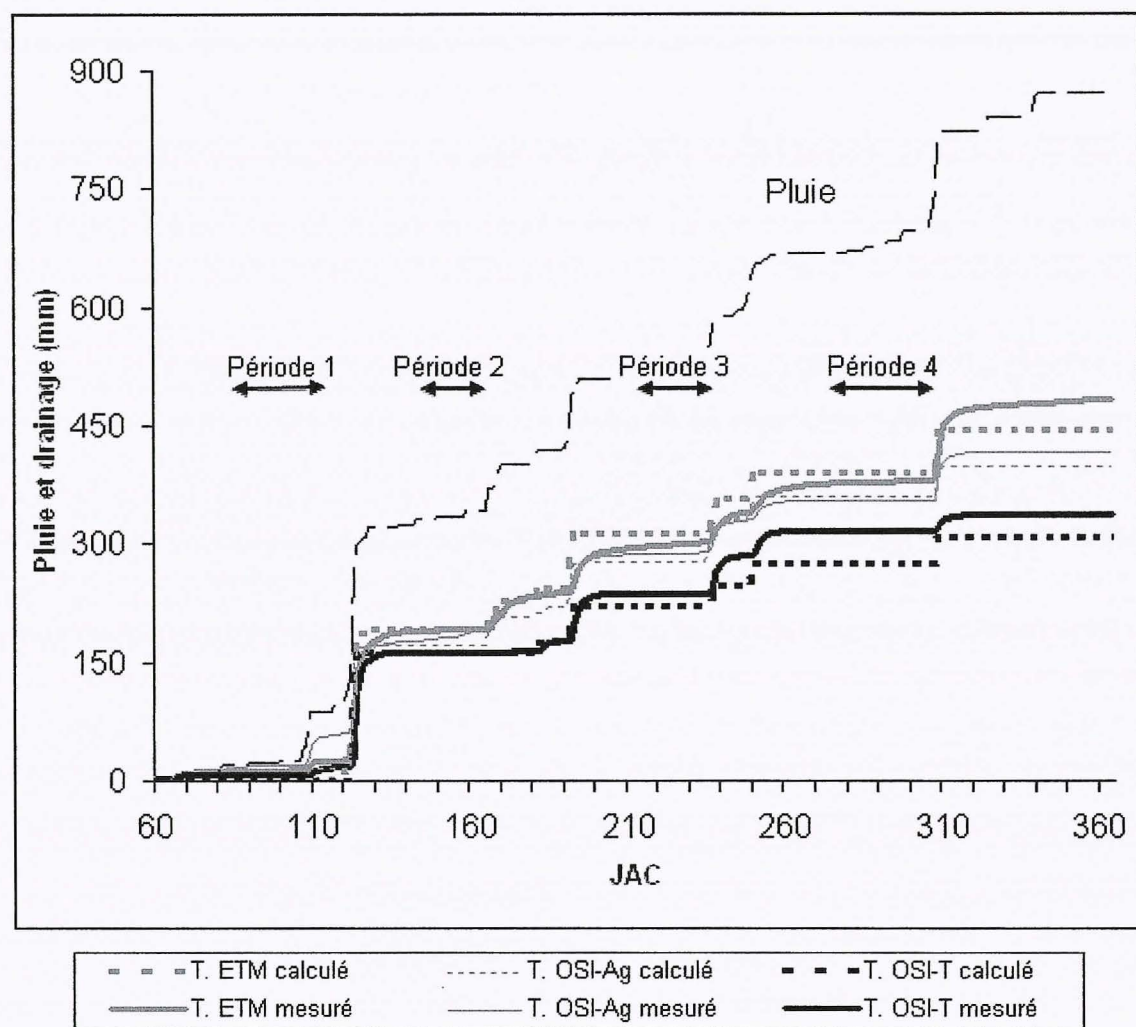


Figure 2. Comparaison entre les valeurs cumulées de drainage (DT, mm) mesurées sous les lysimètres à -180 cm et calculées par OSIRI pour les trois traitements.

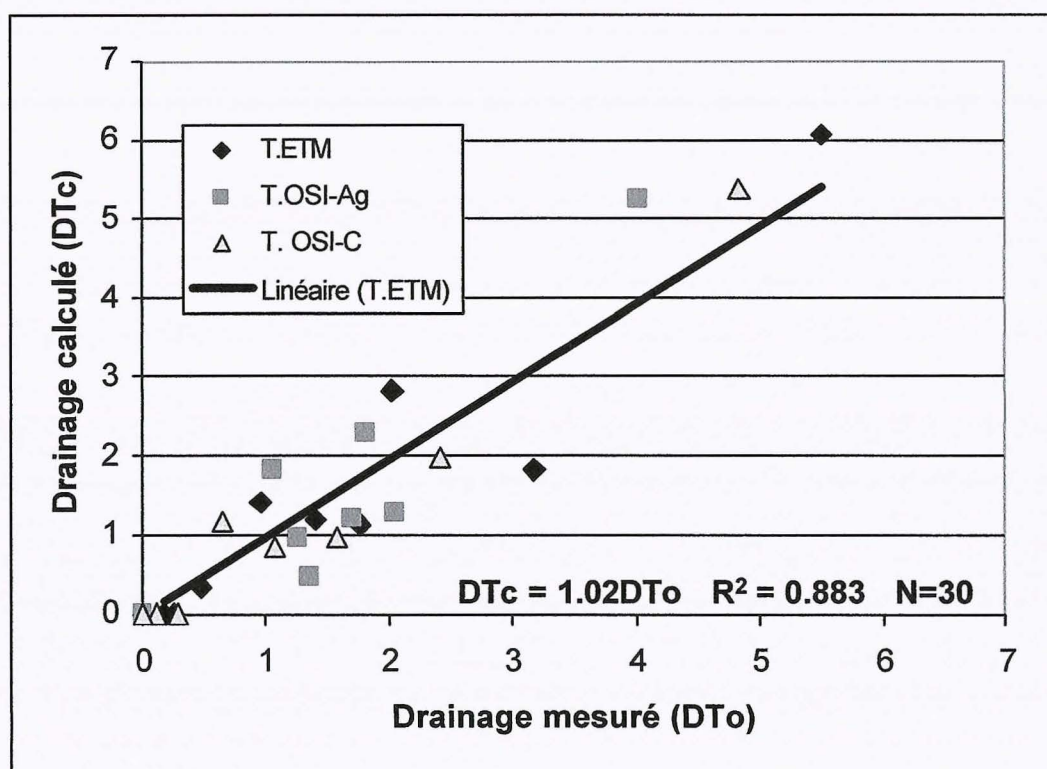


Figure 3 : Comparaison entre les valeurs de drainage des 3 traitements calculées par OSIRI (DTc) et mesurées (DTo) sous les lysimètres à - 180 cm. Moyennes mensuelles (mm/j) entre 60 JAC et la récolte (360 JAC). R² est le coefficient de détermination et N est le nombre d'observations

Tableau n° 5: Résultats statistiques entre valeurs observées et calculées par OSIRI pour l'ETR de 9 parcelles pendant 4 périodes sèches (Cf. Fig. 2)

	AET
Nombre d'observations	36
Moyenne (mm/jour)	3.38
Biais moyen MB (mm/jour)	- 0.16
Efficience de Nash, NE (-)	0.97
Erreur moyenne RMSE (%)	16

Etudes chez des agriculteurs

Evolution du nombre d'agriculteurs suivis et informations sur les pratiques d'irrigation.

Le nombre de conseillers agricoles (3) dont la fonction est le conseil en irrigation est stable depuis 2002. Malgré cela, le nombre d'agriculteurs conseillés a presque doublé entre 2002 et 2006 (Fig. 4).

Le conseil OSIRI a débuté au début de la campagne agricole 2004 (en septembre 2004). Le nombre d'agriculteurs suivis en OSIRI a fortement progressé entre 2004 et 2006 (Fig. 4). Les conseillers laissent les agriculteurs choisir librement leur outil de pilotage d'irrigation, en présentant les différents outils disponibles.

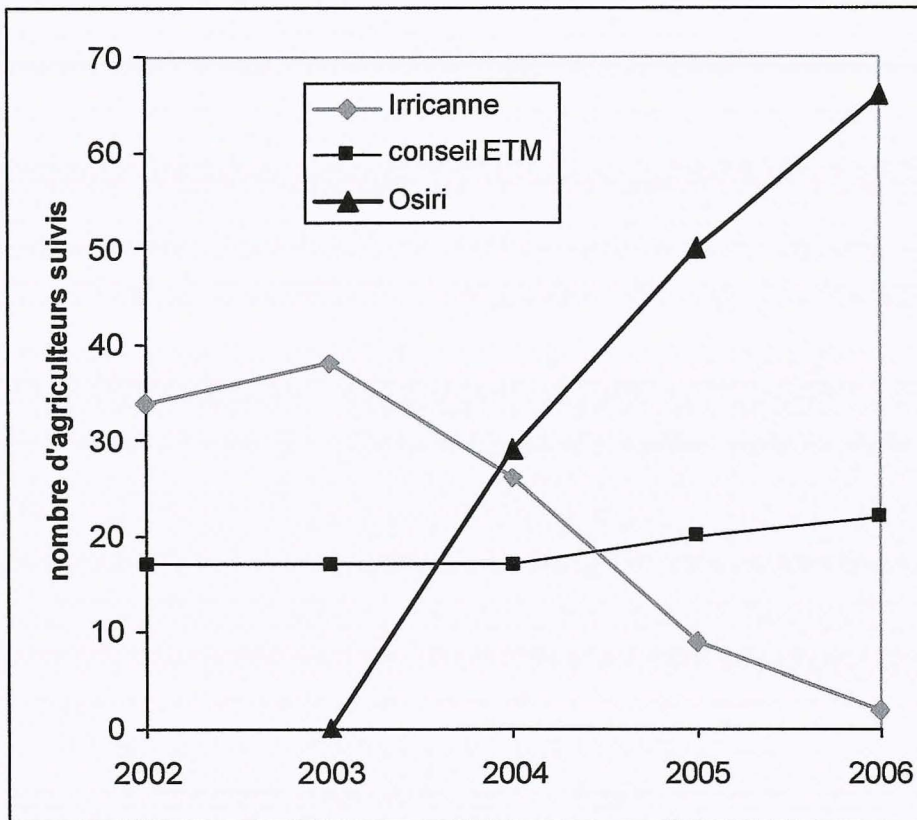


Figure 4: Evolution du nombre d'agriculteurs bénéficiant d'un conseil en irrigation pour la canne à sucre diffusé par l'équivalent des 3 conseillers agricoles affectés au conseil en irrigation.

L'évolution de la répartition des outils utilisés montre clairement qu'OSIRI remplace progressivement l'outil IRRICANNE (Combres et Kamiénarz, 1992) et qu'il est majoritairement adopté par les nouveaux agriculteurs conseillés. En revanche, la fiche de conseil à l'ETM garde sa place, s'adressant à une clientèle différente. C'est donc bien l'introduction de l'outil OSIRI dans le milieu qui a permis, à nombre de conseillers en irrigation constant, d'augmenter le nombre d'agriculteurs conseillés.

Degré d'acceptation d'OSIRI par les agriculteurs.

Un examen préliminaire des données (Minatchy, 2007) a montré qu'il n'y a pas de différence notable dans les réponses des agriculteurs dans les périmètres irrigués du Sud et de l'Ouest de la Réunion (Fig. 1a). Ceci a permis, de regrouper l'ensemble des 25 agriculteurs.

Il apparaît (Tableau. 6) que, pour une majorité d'agriculteurs :

- (i) les doses conseillées par OSIRI correspondent bien aux besoins locaux,
- (ii) le conseil OSIRI conduit à une légère réduction des consommations en eau d'irrigation par rapport à ses pratiques antérieures,
- (iii) le niveau de difficulté du pilotage de l'irrigation est très légèrement plus facile par rapport à ses pratiques antérieures.

Tableau n° 6 : Avis des 25 agriculteurs enquêtés sur l’outil OSIRI. Impression générale (1 très mauvaise, 2 mauvaise, 3 moyenne, 4 bonne, 5 très bonne), exactitude des doses conseillées (de 1: trop faibles à 5: trop fortes), évolution des consommations en eau d’irrigation depuis OSIRI (de 1 : beaucoup plus, à 5 beaucoup moins), degré de facilité du pilotage de l’irrigation par rapport à la situation précédente (de 1 plus difficile à 3 plus facile).

	Impression générale sur OSIRI	Exactitude des doses conseillées	Evolution des consommations avec OSIRI	Niveau de facilité du pilotage de l’irrigation
Moyenne (écart type)	3.9 (0.64)	2.9 (0.40)	4.1 (0.70)	2.25 (0.44)
Min et max	2 - 5	1-3	3 - 5	2-3
Médiane	4	3	4	2
Avis moyen	bonne	doses exactes	baisse	un peu plus facile

Ces résultats sont encourageants, notamment en ce qui concerne la mise en évidence de la perception, par l’agriculteur lui-même, d’une réduction de ses consommations par rapport à ses pratiques antérieures. C’est bien un des objectifs principaux du nouvel outil : réduire les irrigations de précaution, sans réduire le rendement.

Il existe une variabilité dans les réponses des agriculteurs. Il a été tenté de comprendre au moins une partie de cette variabilité à partir de quelques facteurs potentiellement explicatifs: âge de l’agriculteur, degré de formation, type de programmation, utilisation ou non d’un conseil en irrigation avant OSIRI. Les jeunes agriculteurs mieux formés (type AI) semblent un peu plus nettement convaincus de l’intérêt d’OSIRI. Cependant, la variabilité des avis est due, principalement, à d’autres causes. Elle peut être liée à des facteurs humains, venant de l’agriculteur (degré de disponibilité de l’agriculteur), ou venant de l’enquêteur (variabilité dans la procédure de présentation des questions). Mais, finalement, les résultats de l’enquête montrent surtout qu’OSIRI est bien accepté et opérationnel pour tous les types d’agriculteurs enquêtés, quel que soit leur âge, leur formation et leur mode de programmation de l’irrigation (Tab. 7).

Tableau n° 7: Avis des agriculteurs. Impression générale (de 1: très mauvaise à 5: très bonne), exactitude du conseil (doses de 1: trop faibles à 5: trop fortes), évolution des consommations depuis OSIRI (de 1 : beaucoup plus à 5: beaucoup moins), facilité de conduite de l’irrigation par rapport à la situation précédente (de 1: plus difficile à 3: plus facile). L’écart type est affiché entre parenthèses. I, agriculteurs ayant bénéficié d’une formation pratique en irrigation sans études agricoles et AI, agriculteurs disposant d’une formation agricole complétée d’une formation pratique en irrigation.

Variables explicatives		Nombre d’agric.	Impression générale	Exactitude du conseil	Evolution des consommations depuis OSIRI	Facilité du pilotage de l’irrigation
Age (années)	<40	14	4.1 (0.47)	3.0 (0.00)	4.0 (0.68)	2.21 (0.43)
	>40	11	3.7 (0.79)	2.8 (0.60)	4.2 (0.75)	2.27 (0.47)
Type de formation	irrigation	12	3.8 (0.83)	2.8 (0.58)	4.1 (0.67)	2.25 (0.45)
	agricole	13	4.1 (0.47)	3.0 (0.00)	4.0 (0.68)	2.21 (0.43)
Conseil précédent	aucun	12	3.9 (0.83)	2.8 (0.60)	4.1 (0.83)	2.27 (0.47)
	Irricanne	11	4.0 (0.43)	3.0 (0.00)	4.0 (0.60)	2.17 (0.39)
Programmation	En temps	10	3.9 (0.32)	3.0 (0.00)	3.8 (0.63)	1.80 (0.42)
	En volume	14	3.9 (0.83)	2.9 (0.53)	4.3 (0.73)	1.79 (0.43)

Parmi les agriculteurs enquêtés seuls 6 sur 25 possèdent un pluviomètre. Parmi ces 6, une majorité mesure les hauteurs de pluies « toujours » ou « souvent ». Très peu relèvent les doses d'irrigation réellement apportées. Ceci ne facilite pas la pratique d'un pilotage optimisé de l'irrigation.

Impact de l'outil OSIRI sur le rendement chez 5 agriculteurs suivis entre 2001 et 2006

On rappelle (cf. partie METHODES) que pendant les 2 premières années, chez 5 agriculteurs, l'irrigation était apportée sans conseil et l'équipement était de l'aspersion en couverture mobile. En 2003, les exploitants se sont équipés en aspersion en couverture intégrale avec automatismes sans utiliser de conseils à l'irrigation entre 2003 et 2004. Depuis 2005, ces 5 agriculteurs utilisent le conseil OSIRI. Ainsi, la période (2001-2006) peut être divisée en 3 classes de pratiques d'irrigation (équipement et conseil).

Il y a eu une augmentation des rendements entre la première période de 2 ans et la troisième période (Tab. 8). Les conditions de température, de rayonnement solaire et d'ETM ont pourtant été presque identiques. Les pluies varient d'une année à l'autre, mais l'irrigation est appliquée pour maintenir la canne dans des conditions d'évapotranspiration optimale. Les nouveaux équipements en matériel d'irrigation, acquis en 2003, ont un effet positif (+ 15%) sur le rendement. Bien que non spectaculaire et non significatif, on observe une légère augmentation de rendement (+10%) suite à l'utilisation de l'outil OSIRI, à partir de 2005.

Tableau 8. Rendements usinables des 5 exploitations de 2001 à 2006 en conditions différenciées d'équipement, de climat et de conseil. Le rayonnement solaire et la température sont des moyennes journalières sur le cycle cultural de la canne. L'ETM et la pluie sont des cumuls par cycles culturaux.

	2001-2002	2003-2004	2005-2006
Equipement, aspersion	Mobile	Intégrale	Intégrale
Conseil	sans	sans	Osiri
Ray. solaire (J/cm ² /j)	1776	1757	1791
Température moyenne (°C)	21.8	21.9	22.0
ETM (mm)	1131	1087	1110
Pluie (mm)	1169	892	864
Rendement usinable (T/ha)	97.8 ^a	112.9 ^{ab}	124.4 ^b

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 0.05 (test de Newman-Keuls)

Cependant, l'objectif principal d'OSIRI n'est pas d'augmenter les rendements mais, principalement, d'assurer un niveau d'irrigation ajusté (et souvent réduit par rapport aux pratiques courantes) sans perte de rendement, ce qui est montré ici. Les rendements obtenus sur les 5 exploitations confirment donc ceux acquis en conditions expérimentales. Pour ces 5 exploitations enquêtées, l'association de nouveaux équipements et de l'introduction du conseil OSIRI a conduit, en 4 ans, à une augmentation de rendement statistiquement significative de 27% (Tab. 8)

CONCLUSION

L'objectif de cette étude était d'évaluer sur le terrain, en milieu contrôlé et réel, les performances d'OSIRI, un nouvel outil de conseil en irrigation.

Des mesures en conditions contrôlées ont permis de montrer l'aptitude d'OSIRI à proposer des doses d'irrigation plus faibles que celles du conseil à l'ETM, avec une légère réduction des pertes par drainage au delà de la zone racinaire sans impact négatif sur le rendement. Cet écart est facilement explicable. Le conseil à l'ETM est en effet plus simple il ne prend pas en compte ni la réserve en eau utile du sol ni les pluies prévisibles. Il y a un arrêt de l'irrigation de cinq jours après un cumul de pluie de plus de 30 mm. L'écart d'apport d'eau entre les deux outils est donc dépendant de la pluviosité (nombre de pluies, hauteur, répartition). Le conseil à l'ETM conserve son intérêt comme outil très simple, et léger dans le cadre d'une gamme de propositions diversifiées de conseils en irrigation pour les agriculteurs.

Une bonne corrélation a été mise en évidence entre les valeurs d'ETR et de drainage mesurées et modélisées par OSIRI, en conditions sèches (conditions les plus fréquentes d'utilisation d'un outil de conseil en irrigation). En conditions pluvieuses, avec pertes par drainage, il existe également une bonne liaison entre valeurs de drainage mesurées et modélisées par OSIRI. Cet outil semble donc apte à prédire les pertes par drainage dans le cadre d'études environnementales sur l'impact de l'irrigation ou même en situation pluviale. Dans les conditions de l'étude, la mise à jour mensuelle d'OSIRI semble suffisante pour optimiser les doses d'irrigation. Une mise à jour à chaque tour d'eau (5 jours) n'apporte pas d'avantages comparatifs nets. Les études vont être menées pour estimer l'effet d'une mise à jour moins fréquente (3 à 6 mois).

Une enquête a été réalisée en 2006 chez 25 agriculteurs pour évaluer la fonctionnalité d'OSIRI et son acceptation par les exploitants. D'après la plupart des agriculteurs enquêtés, OSIRI permet de diminuer les volumes d'irrigation apportés par rapport à la méthode utilisée précédemment, sans réduire la production de canne à sucre. Ceci a été confirmé par un suivi des rendements dans 5 exploitations avant et après l'introduction d'OSIRI. D'après ces résultats, l'outil semblerait même conduire à une légère augmentation de rendement.

Le nombre d'agriculteurs suivis par 3 agents de la Chambre d'Agriculture est passé de 0 à 66 en moins de 3 ans. La demande est forte pour ce type de conseil à la Réunion. L'extension de sa diffusion va maintenant dépendre (i) des moyens humains disponibles pour encadrer de nouveaux agriculteurs, (ii) de l'aptitude de l'outil à rester pertinent avec des visites plus espacées des conseillers agricoles (iii) de la capacité de l'agriculteur à utiliser l'outil lui-même, dans une version éventuellement simplifiée.

Pour une bonne utilisation d'OSIRI (comme la plupart des outils de conseil en irrigation), il est nécessaire de mesurer les pluies locales. A la Réunion, une faible minorité d'agriculteurs est équipée d'un pluviomètre. Il serait très souhaitable, pour une optimisation de l'utilisation d'OSIRI en particulier et de l'eau d'irrigation en général, de favoriser la mise à disposition de pluviomètres simples chez les irrigants et par la pédagogie de leur montrer l'intérêt de leur utilisation.

OSIRI a dans un premier temps été développé pour des exploitations cannières de l'Ile de la Réunion, et a été testé dans ce département et sur cette culture. Mais il n'est spécifique ni de la canne à sucre, ni de l'environnement physique et humain de cette île. Adapté aux difficiles conditions locales, il devrait l'être à d'autres situations moins contraignantes.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Laurent Minatchy, élève en Brevet de Technicien Supérieur en Agriculture du lycée Agricole de St Paul, Réunion (LEGTA). Celui-ci, lors d'un stage de 2 mois a procédé à l'enquête qui a abouti aux résultats contenus dans le paragraphe « Degré d'acceptation d'OSIRI par les agriculteurs ». Les résultats plus détaillés de son enquête figureront, sous sa signature, dans son rapport de stage en cours de rédaction.

REFERENCES

Chopart, J.-L., Le Mézo L, Mézino M., 2005. OSIRI Guide de l'utilisateur. CIRAD, St. Pierre Réunion (France), note CAS103/05-1, 30 pp.

Chopart, J.-L., Mézino, M., Aure, F., Le Mézo, L., Mété, M., 2005. Présentation et mode de fonctionnement d'OSIRI, outil de conseil en irrigation adapté à un environnement hétérogène et à de petits agriculteurs. CIRAD, St. Pierre Réunion (France), note CAS103/105-2, 23 pp.

Chopart, J.-L., Mézino, M., Aure, F., Le Mézo, L., Mété, M., Vauclin M., 2007. OSIRI: a simple decision-making tool for monitoring irrigation of small farms in heterogeneous environments. *Agric. Water Manage.* 87, 128-138.

Combres, J.-C, Kamiénarz, C., 1992. Un logiciel multi-parcelles, multi-utilisateurs d'avertissement en irrigation et de gestion des périmètres irrigués. *ICID Bull.* 41 2, 135-152.

Dechmi, F., Playan, E., Faci, J.M., Tejero, M., 2003a. Analysis of an irrigation district in northeastern Spain. I: Characterisation and water use assessment. *Agric. Water Manage.* 61, 75-92.

Duwig, C., Normand, B., Vauclin, M., Vachaud, G., Green, S.R., Becquer, T., 2003. Evaluation of the WAVE Model for predicting nitrate leaching for two contrasted soil and climatic conditions. *Vadose Zone J.* 2, 76-89.

Georges, B.A., Malano, H.M., Tri, V.H., Tural, H., 2004. Using modelling to improve operational performance in the Cu Chi irrigation system, Vietnam. *Irrig. and Drain.* 53, 237-249.

Inman-Bamber, N.G., Baillie, C., Wilcox, J., 2002. Tools for improving efficiency of limited water use in sugarcane. In: *Proc. of Irrigation Ass. Australia Nat. Conf.*, Sydney, 21-23 May, pp. 251-259.

Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J., Pinter, P.J., 1981. Canopy temperature as a crop stress indicator. *Water Resour. Res.* 17, 1133-1138.

Minatchy L., 2007. Analyse de l'intérêt d'OSIRI, un nouvel outil de conseil en irrigation chez 25 agriculteurs cannières des périmètres Sud et Ouest de la Réunion. Rapport de stage BTSA gestion et maîtrise de l'eau. Doc. LEGTA-CIRAD Réunion, à paraître.

Ozier-Laffontaine, H., Cabidoche, Y.-M., 1995. Thickness variations of vertisols for indicating water status in soil and plant. *Agric. Water Manage.* 28, 149-161. 149-161.

Mailhol, J.-C., Zaïri, A., Slatni, A., Ben Nouba, B., El Hamani, H., 2004. Analysis of irrigation systems and irrigation strategies for durum wheat in Tunisia. *Agric. Water Manage.* 70, 19-37.

Stirzaker, R.J., Hutchinson, P.A., 2005. Irrigation controlled by a wetting front detector: field evaluation under sprinkler irrigation. *Aust. J. Soil Res.* 43, 935-943.

Wiedenfeld B., 2004. Scheduling water application on drip irrigated sugarcane. *Agric. Water Manage.* 64, 169-181.